

意思決定支援システムによる住民参加型橋梁景観設計手法に関する研究

Study on Bridge Aesthetic Design Technique Regarding Inhabitants' Wishes by Using Decision Support System

古田 均*, 三雲是宏**, 林真理子***, 鳴尾友紀子****, 堂垣正博*****

Hitoshi FURUTA, Yukihiro MIKUMO, Mariko HAYASHI, Yukiko NARUO and Masahiro DOGAKI

*工博, 関西大学教授, 総合情報学部 (〒569-1095 高槻市霊仙寺町 2-1-1)

** (株)ニュージェック (〒542-0082 大阪市中央区島之内 1-20-19)

*** (株)ファームエンジニアリング (〒570-0014 守口市八雲町 2-82-22)

****工修, (株)サノヤス・ヒシノ明昌 (〒530-6591 大阪市北区中之島 3-6-32)

*****工博, 関西大学教授, 工学部都市環境工学科 (〒564-8680 吹田市山手町 3-3-35)

In case of aesthetic designing of bridge with Inhabitants' satisfaction, we should present practical visualization of final completion. In this paper, the authors made trials to develop a Decision Support System that can provide some reasonable and practical aesthetic design plans for bridges, those are satisfactory for all the bridge engineers, clients and inhabitants. The Decision Support System consists of three subsystems such as evaluation system of aesthetics, optimization system, and describing system using computer graphics. By using the Decision Support System, several illustrative design examples are derived after iteration. And we discussed about the efficiency and applicability of the Decision Support System.

Key Words: aesthetic design, bridge design, decision support system, inhabitants' wishes

キーワード: 橋梁景観設計, 意思決定支援システム, 住民参加

1. はじめに

わが国における高度経済成長期には, 社会基盤施設の普及が急務とされ, その設計には安全性, 機能性, 経済性などが重視されてきた. その結果として, 実際に景観面への配慮においては画一的な構造物が大量に建設されてきたといえる. しかしながら, 成熟社会を迎えた今日, 生活環境に対する住民の価値観が変化してきている¹⁾. 社会基盤施設に対する住民の要求も同様に変化し, 経済性や安全性は当然のこととして受け止められ, 今度はその存在は地域住民に安らぎを与えるなど, 地域の景観へ影響などに配慮した環境にやさしい設計が求められている. 構造物における経済性, 安定性技術が成熟するに伴い, 現在では要求するものが量から質へと移りつつある. 社会基盤施設の中でも, 橋梁は使用期間の長いものであり, 日常から住民の目に付きやすい性質を持つため, 多くの人々にとって違和感の少ないデザインであるべきである. しかしながら, 橋梁に対する思いは人それぞれで, デザインの好みもさまざまである. 実際のところ具体的なイメージを推し量るのは困難であり, 景観の評価基準も個人によって変化しやすい. また, 時代とともに住民の橋梁への思いや要求も変化していくことが考えられる. そのため, 住民の要求を把握する手段の一つとして, 橋梁の景観に関するアンケートがしば

しば実施されてきている. 近年では, さまざまな土木事業で, 発注者と設計者あるいは地域住民と発注者との間の合意形成が迅速かつ円滑に進められるために, 構造物の完成予想図の可視化が積極的になされようとしている. 橋梁の景観設計でも同様である. 橋梁技術者同士の景観案に対する意志の疎通は, 専門知識や経験を持ち合わせているため, スムーズかつ正確になされるが, 住民への景観案の提示の際には, 住民が専門知識を十分に持ち合わせていないため, 彼らは好ましい景観案のイメージづくりが困難である. そのため, 住民に正確に景観案を伝えることが重要であり, 景観案をリアルに可視化することが有効である. その際, 橋梁の専門知識が乏しい地域住民が景観案を見て, 評価しながら景観設計に参加できる支援システムがあれば非常に有益であると考えられる.

本研究では, 構造物の中でも地域住民の目につきやすく, 関心度が比較的高いと思われる橋梁を対象に, 住民の意見や嗜好等を取り入れ, 意思決定を支援するシステムを取り入れた住民参加型の橋梁景観設計手法について議論する.

2. 住民参加による橋梁景観設計のための支援システム

2.1 住民参加の方法

住民の意向を取り入れる手段として, 景観案へのアンケ

アンケート調査を考える。アンケート調査では、最適景観案として探索された数種の景観案に対して住民の好む順を調査する。アンケートにおける問題点としては、住民は専門知識や経験がないため景観案のイメージづくりが困難なこと、それによって回答に多くの時間と労力が掛かることが挙げられる。そこで、景観案を素早く正確に伝えるため、CGソフトである3D Studio VIZを用いて住民に景観案の提示を試みる。このソフトは、予め主桁・高欄・橋脚といった景観構成アイテムの形状を作成しておく、色彩データであるRGBを入力するだけで、複数の景観案を素速く提示することができる。

次にアンケートの実施回数を減らし時間を短縮する方法を考える。新しい景観案ができあがるたびにアンケートを実施すれば、かなりの時間がかかるが、ニューラルネットワーク(NN)や遺伝的アルゴリズム(GA)を適用することによって、アンケート回数を減らし、住民の負担を軽減することができる。例えば、NNで住民の意向を学習させ、その評価尺度を作成する。それをGAの評価関数として用い、アンケートを毎回実施した場合に近い景観案を作成する。

2.2 景観設計支援システムを活用した住民参加支援システム

(1) システムの概要

景観設計に住民参加をどの段階でどのように実施するかは重要な課題である。本研究では、技術者による橋梁景観案が作成された段階で、住民が参加し、提案された橋梁景観案への意見を問ひ修正を受けることとした。本研究で検討したシステムは、住民に具体的な橋梁景観案を作成する景観設計支援システムと、住民の意見を取り入れ案を修正しながら最終案を導き出す住民参加支援システムから構成される。システムの流れを図1に示し、その操作手順

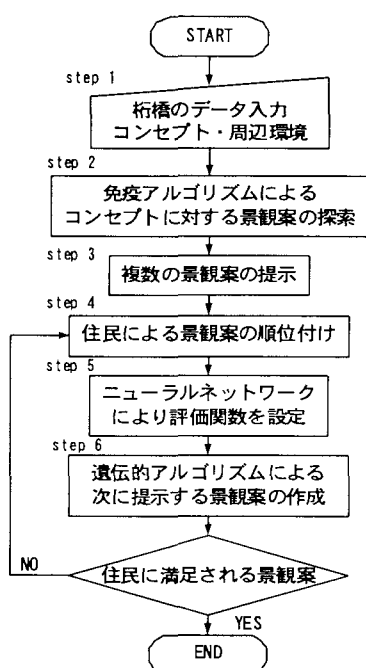


図-1 本支援システムの流れ

を以下に述べる。

Step 1: 技術者がつぎの対象橋梁のデータ①～③をシステムに入力する。

①対象橋梁がもつデータ (路面高の高低、主桁・高欄の色彩、主桁・高欄・橋脚の形状)

②周辺環境とその色彩

③景観設計のコンセプト

Step 2: 入力データをもとに、設定した設計コンセプトを満たす景観案を免疫アルゴリズム(Immune Algorithm: IA)で探索する。

Step 3: その結果、複数の景観案が景観設計支援システムから導き出される。

Step 4: 提示された複数の景観案を住民に示し、その良し悪しのアンケートから、順位づけする。

Step 5: 住民の好みをすなわちアンケート結果をニューラルネットワークで学習させ、景観案に対する評価指標を作成する。

Step 6: Step 5で作成された評価指標をもとに、住民の好みをより取り入れた新たな景観案を遺伝的アルゴリズムで複数探索する。

Step 4～Step 6の手順を繰り返し、住民の意見が十分に反映されたところで、最終景観案とする。

(2) 景観を構成するアイテムの設定

対象とする橋梁は、主桁・高欄・橋脚で構成される。主桁・高欄の色彩、主桁・高欄・橋脚の形状を景観構成アイテムとし、これらの組み合わせで景観案を表す。

(2)-1 桁橋を構成する主桁・高欄の色彩

主桁と高欄の色彩表記には、色の様相をイメージしやすいマンセル表色系を用いる²⁾³⁾⁴⁾。マンセル表色系では、色彩を色相・明度・彩度の3属性で表示する。有彩色の場合、色相・明度/彩度で表し、これをマンセル値と呼ぶ。たとえば赤の場合、5R4/14のように表される。これは、5Rは赤の中心色相を、4は中灰より1段階暗いことを、14は最高の彩度であることを示す。無彩色の場合は、Neutralの頭文字のNをつけてN5のように表す。

色相・明度・彩度の3属性を次に説明する。

①色相 (Hue: H) …赤や青などの10色相環がJISで規格化されたもので、この環はマンセル色相環といわれる。各色相には1から10まであり、たとえば赤 (R) の中心色相には5を色相記号の先頭につけて5Rと表される。

②明度 (Value: V) …理想の黒を0、理想の白を10とし、その間を10段階に分割して番号づけする。実際には、理想の黒や白は表記できず、1ないし9、あるいは1.5ないし9.5までの記号で表される。

③彩度 (Chroma: C) …無彩色を0とし、色味が増すにつれて、彩度番号も増すようにつけられる。彩度は色相によって上限が異なる。

トーンとは明度と彩度を組み合わせたもので、色相に関係なく、色の濃淡、明暗、強弱によって12段階に分類される。本研究では、代表の10色相それぞれから各トーン

表1 設定した128種類の色彩の慣用色名とマンセル値

トーン	R/赤	YR/黄赤	Y/黄	GY/黄緑	G/緑	BG/青緑	B/青	PB/青紫	P/紫	RP/赤紫
V	赤 4/16	橙 7/16	黄 8/15	黄緑 7/15	緑 4/14	青緑 5/12	青 5/14	青紫 4/14	紫 5/14	赤紫 5/14
S	さんご色 5/10	柿色 6/12	うこん色 6/11	くさ色 6/10	緑黄色 5/9	あおたけ色 5.5/9	あざぎ色 5/9	るり色 4/9	あやめ色 4/10	紅褐色 4/10
B	ばら色 7/9	あんず色 8/7	たまご色 8/11	カナリヤ色 8/11	エメラルド 7/10	トルコ石色 7/9	空色 7/8	サルビア色 7/8	藤色 7/9	桃色 7/10
P	とき色 8/6	夕陽色 9/4	香色 9/6	若苗色 8.5/6	浅みどり 8/6	浅青緑 8/5	水色 8/5	浅藍色 8/6	うす紫 8/6	うす桃色 8/6
Vp	さくら色 9/2	白茶 9/1	象牙色 9/1	利休白茶 9/2	白緑 9/2	うすあざぎ 9/2	白群 9/2	藍白 9/1	淡藍色 9/2	紅板 9/2
Lgr	桜かすみ色 8/2	とのこ色 8/2	曇色白茶 8/2	利休ねずみ 8/3	浅みどり 8/2	あざぎねずみ 8/3	深川ねずみ 7.5/2	浅藍ねずみ 7/2	うすいろ 7/2	灰板 7.5/2
L	樹皮色 6/6	肌色 6/5	からし色 6/4	若芽色 6/5	若竹色 6/6	みずあざぎ 6.5/6	さびあざぎ 6/5	藍ねずみ 6/4	鳩羽紫 6/4	藍色 6/4
Gr	きじばと 5.5/2	茶ねずみ色 5/2	鈍色 5/1	山鳩色 5/2	うす黄褐色 5/2	黄葉色 5/2	納戸ねずみ 5/2	さびはなだ 5/2	さび紫 5/2	板ねずみ 5/2
DI	さびえび色 5/5	らくだ色 5/6	うくいす色 5/6	おいみどり 5/5	とくさ色 4/5	老竹色 4/6	さび納戸 4/6	うすはなだ 4/6	あやめ色 4/5	牡丹ねずみ 5/5
Dp	れんが色 3/10	茶色 4/9	うくいす茶 5/8	こけ色 4/8	濃緑 3/7	濃青緑 3.5/7	納戸色 3/9	紺青 3/9	すみれ色 3/8	ぶどう酒色 3/10
Dk	えび色 2.5/8	たばこ色 3/7	オリーブ 3.5/6	ふかみどり 3/6	深緑 3/6	深青緑 3/4	深納戸 2.5/4	紺色 3/5	茄子紺 3/6	深ぶどう酒色 3/6
Dgr	くり色 2/3	黒茶 2/2	オリーブ茶 2/3	みる色 2/2	森林色 2/2	鉄色 2/2	こきはなだ 2/2.5	濃紺 2/2.5	深紫 2/2	濃色 2/2
無彩色	白 N-9.5	白-グレー N-9	グレー N-7	灰色 N-6	シ-グレー N-5	ミ-グレー N-3	ダーク-グレー N-2	黒 N-1.5		

12 種類を選び出した 120 色の有彩色と、8 種類の無彩色との計 128 色を選び、主桁・高欄の色彩とした。128 種類の慣用色名とマンセル値を表 1 に示す。

(2)-2 桁橋を構成する主桁・高欄・橋脚の形状

文献 2), 5) を参照し、主桁・高欄・橋梁の形状に採用される機会が多いと思われる形状を選定した。主桁には、代表的な等断面と変断面の 5 種類を設定した。高欄と橋脚には、デザイナーが設計するような特殊な形状を除き、それぞれ 5 種類、13 種類を設定した。主桁の 5 種類を図 2 に、高欄の 5 種類を図 3 に、橋脚の 13 種類を図 4 に示す。

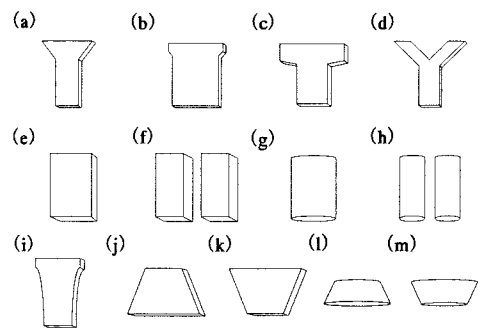


図-4 13 種類の橋脚の形状

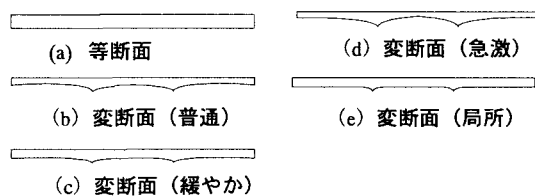


図-2 5 種類の主桁の形状

(3) 設計コンセプト

景観設計は、人々が希求するコンセプトに適応するように進められる。設計コンセプトとは、橋梁を計画する際にどのような橋梁にしたいかを表すもので、本研究では、求められる頻度の高い設計コンセプトを 7 つ設定した。それを表 2 に示す。

表-2 設計コンセプト

	コンセプト
1	周辺環境との調和
2	シンボル性
3	個性的
4	信頼感
5	親しみやすさ
6	風格のある
7	地域性

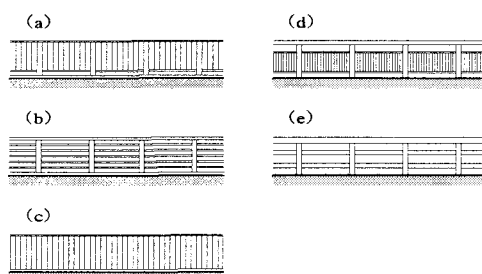


図-3 5 種類の高欄の形状

2.3 景観案を探索するIAの適用

本支援システムでは、技術者による橋梁景観案の作成手法にIAを用いる。後に住民参加支援システムに用いられるGAは、評価値の高い景観案、すなわち準最適解を探索する方法である。橋梁の景観設計を評価する場合、景観はあいまいさを含む感性で評価されているため、評価値の高いものが必ずしも良い景観案とはかぎらないという考えから、評価が多少低い景観案も探索可能なIAを適用する。このように、多様な解が求められるIAを景観設計支援システムに用いるのが適切である。免疫アルゴリズム(Immune Algorithm : IA)とは、生体のもつ免疫機能をモデル化したものである。生体の免疫システムには、生体を抗原から守るために免疫細胞が自己と非自己(抗原)を識別する機能と、病原菌や病気などのために変化した自己成分を排除する機能が備わっている。これは、生体内に侵入した抗原を認識し、過去に排除した抗原に対して有効であった抗体を作りだし、抗原を排除する機能である。新しい抗原に対しては、それに抵抗する抗体産生細胞をつくり、これを増殖し抗原を排除する。また、免疫システムは、自己に対しても免疫性を示し、同種の抗体が大量に産生されたとき、抗体産生の抑制機能を持つサブプレッサー細胞によって、その抗体と同種類の抗体の産生を抑制し、状態のバランスをとる機能を有している。すなわち、IAは生体免疫システムの抗体産生機能と自己調整機能を工学的にモデル化したアルゴリズムである⁹⁾¹¹⁾。

2.4 NNによる住民の景観選好分析

本研究では、NN⁹⁾を用い住民の意向を学習し、景観評価に利用できる特性を把握することによってアンケートへの回答に伴う住民の負担を軽減することを狙う。

NNが学習するのは、住民の景観案の選好順位である。入力層に景観構成アイテムを入力すると、出力層から住民の意向を取り入れた得点を得ることができる。5つの橋梁の景観案を住民に提示し、1~5位の順位付けを求め、その結果に対し1位の景観案に10点、2位に8点、3位に6点、4位に4点、5位に2点の得点を与える。これが以後の教師データとなり、NNによる出力値が教師データに近づくように学習していく。なお、入力層のニューロンの数は5つの景観構成アイテムを入力するため5つ、出力層は景観案の順位を兼ねた得点を出力するため、1つとした。

2.5 GAによる住民の意見を取り入れた景観案の最適化

NNによって作成した住民の意向を考慮した景観指標をもとに、つぎに提示する景観案を作成する。景観案は多数の景観構成アイテムの組み合わせからなるため、膨大な数となり、すべての景観案を調査するのは困難である。それゆえ、住民の意見を反映した景観案を探索する最適化手法に、遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm : GA)⁸⁾⁹⁾を用いる。

(1) 景観構成アイテムの遺伝子列への適用

本システムでは、景観構成アイテムで構成される景観案をGAの遺伝子列に対応させる。遺伝子列は、「0」または「1」の2進数で表される。主桁と高欄の色彩はそれぞれ128種であるため7ビット、橋脚の形状は13種であるため4ビット、高欄の形状は5種であるため3ビットの遺伝子列をそれぞれ用意した。景観案はそれらの組み合わせの計24ビットで表れる。本来、遺伝子のパターン数と景観構成アイテムのパターン数は同数になるべきであるが、主桁、高欄、橋脚の形状の数は同じにならない。なぜなら、主桁、高欄、橋脚の形状の数は5種類、13種類であり、2ⁿで表すことができない。そこで、形状は景観構成アイテムに遺伝子列を重複させる。

(2) 遺伝子操作の適用

遺伝子の交叉に一点交叉法を用いる。交叉位置を1つの景観構成アイテムの途中に選び交叉すると、元のデータとまったく異なった景観案が作成される。そのため、交叉位置は個々の景観構成アイテムの遺伝子列の間、すなわち、7, 14, 18, 21番目のビットの中でランダムに発生させ、景観案のデータを保護する。収束判定のために世代の交代数を100回とし、それが満たされたところで計算を終わる。

2.6 周辺環境との調和の評価

色彩の評価には、ムーン・スペンサーの色彩調和論とバークホフの美度値を用いる²³⁾¹⁰⁾。

(1) ムーン・スペンサーの色彩調和論

ムーンとスペンサーは、マンセル表色系に準拠し、客観的で総括的な色彩調和論を展開した。色彩調和の区分に関するものと配色の美度に関するものを次に説明する。色の配色には快いものと不快なものがある。快い配色は美的価値が高く、「調和」とされる。調和には、①同一②類似③対比があり、一方、不快な配色は「不調和」と呼ばれ、①第一のあいまい、②第二のあいまい、③眩暈(glare)があり、すべての配色は「調和」と「不調和」に分けられる。実験結果に基づき、調和と不調和にはそれぞれつぎの3種類がある。いずれもマンセル表色系上で説明される。調和と不調和に係る色間隔の範囲区分は、実験値に基づいて表3のように定められている。

表一3 2色間の調和、不調和の範囲

調和・不調和範囲	明度だけの 変化	彩度だけの 変化	色相だけの 変化
同一	0-1j.n.d	0-1j.n.d	0-1j.n.d
第一の曖昧	1j.n.d-0.5	1j.n.d-3	1j.n.d±7
類似	0.5-1.5	3-5	±7±12
第二の曖昧	1.5-2.5	5-7	±12±28
対比	2.5-10	>7	±28±50
眩暈	>10	-	-

注) 数字は段階(色相は100分割) j. n. dは最小判別しきい値

(2) パークホフの美度計算

パークホフは、この「複雑さにおける秩序性」という考えをつぎのように表現している。

$$M = \frac{O}{C_x}$$

ここに、 M は美度を、 O は秩序を、 C_x は複雑さを表す。

ムーンとスペンサーは、パークホフの考えを色彩調和の美度計算に導入した。そして、 O を決めるために、色相、明度、彩度の関係や面積バランスなどを考慮した美度係数を定めた。美度係数を表4に示す。

表-4 美度係数

	同一	第一の曖昧	類似	第二の曖昧	対比	眩輝
色相	+1.5	0	+1.1	+0.65	+1.7	-
明度	-1.3	-1.0	+0.7	-0.20	+3.7	-2.0
彩度	+0.8	0	+0.1	0	+0.4	-
灰色	+1.0	-	-	-	-	-

つぎに、面積のバランスを考える。ある色彩の配色面積

がであるとする。そのスカラ・モーメント S は

$$S = A\sqrt{C^2 + 64(V-5)^2}$$

で与えられる。ここに、 C は彩度の値、 V は明度の値である。

面積のバランスを考慮した美度を求める場合、

- ①色対のスカラ・モーメントが1:1のとき +1.0
- ②色対のスカラ・モーメントが1:2のとき +0.5
- ③色対のスカラ・モーメントが1:3のとき +0.25
- ④その他のとき 0

をそれぞれ秩序 O に加える。

さらに、 C_x は

C_x = 色数 + 色相差のある色対の数 + 明度差のある色対の数 + 彩度差のある色対の数

で求められる。 M が0.5以上ならば一般的に美しいとされる。

2.7 景観構成アイテムの評価

2.2(2)で述べたように、橋梁の景観案は景観構成アイテムで与えられる。橋梁の景観案を評価する方法には、景観案のもつ景観構成アイテムに形容詞対を用いる。景観構成アイテムを評価する形容詞対に、表5に示すような16種類を設定し、-1~1の得点付けを行う。

①主桁と色彩における色彩の景観評価

色彩の評価には、形容詞対1~10を用意し、主桁と高欄に適用される色彩の固有のイメージを個々の形容詞との関連で得点づける。

②主桁・高欄・橋脚における形状の景観評価

形状の評価には、形容詞対11~16を用意し、形状のイメー

ジと形容詞との関連で得点づける。

表-5 16種類の形容詞対

	形容詞対
1	派手な-地味な
2	刺激的な-温和な
3	ソフトな-ハードな
4	動的な-静的な
5	モダンな-アンティークな
6	明るい-暗い
7	暖かい-涼しい
8	華やか-渋い
9	軽快な-重厚な
10	調和した-調和してない
11	安定感のある-安定感のない
12	シンプルな-複雑な
13	力強い-弱い
14	固い-柔らかい
15	開放的な-圧迫感のある
16	連続感のある-連続感のない

2.8 ファジィ推論による景観構成アイテムの評価とコンセプトの結合

橋梁の景観設計支援システムを構築するにあたり、景観案を定量的に評価する必要がある。しかし、景観の評価は個々人の感性に大いに左右されるため、曖昧になりやすい。そこで、曖昧な概念の定量化に優れているファジィ推論を用い、2.6で求めた景観構成アイテムの16種類の形容詞対の評価を景観案の設計コンセプトに対する満足度の評価に結びつける^{5),11)~12)}。ファジィ推論の考え方は、

前提1: If x is A then y is B

前提2: x is A_1

結論: y is B_1

のようである。ここに x 、 y は対象名、 A 、 A_1 はファジィ変数、 B 、 B_1 は実数値である。ファジィ変数とは、関数であるメンバシップ関数で与えられる。本システムでは、景観構成アイテムの形容詞対による評価と景観案のコンセプトに対する評価とを結び付けるルールを簡略化ファジィ推論によって作成する。簡略化ファジィ推論ルールは、以下のように表される。

$$\text{If } x = A_i \text{ then } y = C_i \quad i=1,2,3,\dots,n$$

ここに、 C_i は実数値、 n は任意の整数である。

入力値である形容詞対 j の評価を X_j ($-1 \leq X_j \leq 1$) とし、メンバシップ関数 k に X_j を入力すると、適合度 $\phi_{j,k}(X_j)$ が求まり、コンセプト i に対する満足度 $f_{i,j,k}$ が $C_{i,j,k}$ と $\phi_{j,k}$ の積から、

$$f_{i,j,k} = C_{i,j,k} \phi_{j,k}(X_j)$$

のように求められる。ここに、 i ($i=1,2,3,\dots,7$) は設計コンセプト、 j ($j=1,2,3,\dots,16$) は形容詞対、 k ($k=1,2,3,\dots,5$) はメンバシップ関数を示す。

コンセプト*i*，形容詞対*j*について， $k=1\sim 5$ のメンバシップ関数を足し合わせた満足度を形容詞対*j*に対する満足度 $F_{i,j}$ とすれば，

$$F_{i,j} = \sum_{k=1}^5 C_{i,j,k} \phi_{j,k}$$

となる．

設計コンセプト*i*に対する16個の形容詞対の満足度を合計すれば，設計コンセプト*i*に対する得点 F_i が，

$$F_i = \sum_{j=1}^{16} \sum_{k=1}^5 C_{i,j,k} \phi_{j,k} (X_j)$$

から得られる．この値が大きいほど，設計コンセプト*i*を満足度が高いと考えられる．ここでは，得点 F_i を最大の得点 $F_{i,\max}$ で割り正規化し，設計コンセプト*i*に対する計画案の評価値すなわち適応度 N_i とする．

$$N_i = \frac{F_i}{F_{i,\max}}$$

3. 本支援システムによる適用シミュレーション

本システムは，技術者が簡単に景観に配慮した設計案を作成できる景観設計支援システムと，橋梁の景観設計に関する専門知識のない住民の意見が取り入れられる住民参加支援システムからなる．本システムに既設橋梁のデータを入力し，両システムを稼働させ，住民の意見が景観案にどのように反映されるかを観察する．

3.1 対象とした橋梁

本システムには，橋梁年鑑（昭和63年度版）から選んだ2径間連続鉄桁橋「北川5号橋」のデータを入力し実行した．

(1) 初期データ

入力データは，北川5号橋の路面高の高低と5つの景観構成アイテム，および，周辺環境のデータである．表6に初期データとして路面高の高低と景観構成アイテムを示す．橋梁の景観設計には周辺環境が大いに影響すると思われる．図に示す北川5号橋の写真から周辺環境の要素を5つに分類し，5つの周辺環境の色彩から適切と思われるマンセル値を設定した¹³⁾．5つの周辺環境の面積比は，主桁の面積を1とした時の比である．これらのマンセル値と面積比を周辺環境のデータとして表7に示す．

表-6 初期データ

路面高	高い
主桁の色彩	さびあざぎ
高欄の色彩	パールグレー
主桁の形状	b
高欄の形状	c
橋脚の形状	e

表-7 周辺環境のデータ

周辺環境	マンセル値	面積比
山（遠景）	10G7/2	4.78
山（中景）	2.5GY4/3	17.65
川	2.5B7/2	2.44 (2.17)
岩，草，土	2.5GY7/6	4.09
橋脚（コンクリート）	N-9	0.20

(2) 景観設計支援システムによる最適景観案の提示

初期データをもとに，景観設計支援システムを稼働し，住民の意見を調査するアンケート用の5つの景観案を作成する．5つの景観案を求める際，住民がどの設計コンセプトを必要としていても対応できるように7つの設計コンセプトを表8のように分類した．これらの設計コンセプトをもとに，住民に提示する景観案1～景観案5を作成する．住民の意見が景観案にどのように反映されるかを観察する．同じ景観案5つに対して，2名の住民AとBにアンケートを実施した．

表-8 景観案5つの設計コンセプト

	設計コンセプト
景観案1	周辺との調和 親しみやすさ
景観案2	シンボル性
景観案3	個性的
景観案4	信頼感
景観案5	風格のある 地域性

3.2 景観設計支援システムによる景観案と住民参加支援システムによる景観案の比較

住民A，住民Bの最終景観案の結果から，望まれるコンセプトを調べるために，住民A，住民Bから得られた最終景観案の適応度の和をそれぞれのコンセプトに対して求めた．適応度の和を縦軸に，表8に示したコンセプト（周辺との調和，親しみやすさ，シンボル性，個性的，信頼感，風格のある，地域性）の7項目を横軸にとって図示したものを図5と図6に示す．ここに，図5は住民Aによる結果を，図6は住民Bによる結果を示す．

図5において，住民参加支援システムを回すごとに最終

景観案ができる過程を見ると、徐々に住民の意見が反映されていることがわかる。また、住民 A は、シンボル性や個性的といったインパクトのある景観案よりも、周辺環境と調和した、環境にやさしい景観案を望んでいることがわかる。図 6 においては、住民 A のような明確な変化は表れなかったため、景観設計支援システムを最終景観案のみを示す。変化がみられない理由として、住民 B はシンボル性や個性的といったインパクトのある景観案を好んでいるが、周辺環境と調和した、環境にやさしい景観案も無視できないと判断したためであると考えられる。

これらの結果から、同じ景観設計支援システムによって提案された景観案であっても、アンケートに解答した住民の好みによって、異なる結果が得られることがわかる。

また、色相、明度、彩度の各々の観点から本システムによって生成された景観案を評価した結果を次に示す。

①色相について

景観案の色相関係を観察すると、システムが最初に生成した景観案の色相差の平均値に対して、住民の意見を考慮した最終の景観案では色相差が少ないといえる。また、住民 A、B から得られた景観案は、2 色間の色相差が多い配色関係よりも、2 色間の色相差が少ないものが好まれている。ムーン・スペンサーの色彩調和論では、対比は調和とされているが、住民 A、B の意見では、橋梁の主桁と高欄の色彩は、対比よりも類似が好まれている。

②明度について

橋梁の主桁と高欄の明度関係について注目した。システムが最初に生成した景観案と住民 A と住民 B の意見を取り入れた景観案 A、B について、主桁と高欄の明度差を調べた。明度差の平均を算出すると、システムが最初に生成した景観案の明度差は高いのに比べ、住民 A、住民 B の意見を取り入れた景観案の明度差の平均は低くなっている。住民 A、B は主桁と高欄の配色関係において、明度差が大きく、対比的な配色関係よりも明度差の少ない曖昧な関係を好むことがうかがえる。

③彩度について

彩度については、法則性は見受けられなかった。これにより、橋梁の色彩に関して、彩度の変化だけでは、あまり影響されないことがわかった。

4. おわりに

本研究では、簡単な初期データを入力するだけで景観に配慮した景観案が作成できるシステムと、専門知識のない住民の意見を簡単に取り入れることのできる住民参加支援システムを統合することによって、住民参加型の橋梁景観設計における一手法を提案した。橋梁の景観案は 5 つの景観構成アイテムで構成し、その組み合わせによって設計コンセプトに対する評価値が決まる仕組みを定めた。多数の景観案の中から最適な景観案を選び出す手法には、免疫

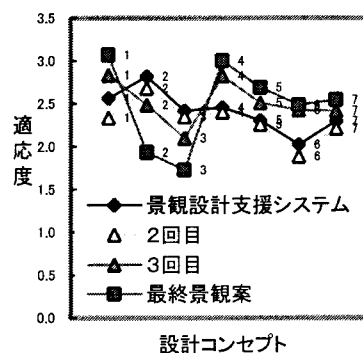


図-5 住民 A による適応度の変化

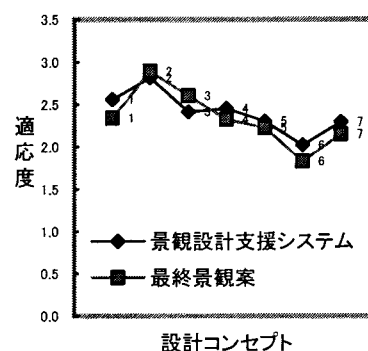


図-6 住民 B による適応度の変化

アルゴリズムを採用し、対象橋梁の設計コンセプトと周辺環境を入力し、コンセプトに見合った景観案が提示できるシステムとしている。この景観案を住民に問い、住民の意向を景観案に取り込んでいく。そこでは、住民の選好順位をニューラルネットワークで学習させ、住民が好む景観案を遺伝的アルゴリズムで探索することで、住民に行う非現実的なアンケートへの回数を回避し、住民へ強いてきた負担の問題を改善することができた。本システムでは、2 つの対象橋梁のデータを入力して実行することにより、複数の景観案が提示される。それをもとに住民の意見を取り入れた景観案を作成し、これをもとに橋梁景観について専門知識のない住民の好みを取り入れた景観案を生成することができた。今後は、より多くの模擬的な景観設計を実施し、生成された最終景観案において住民の意向の反映という点でコンセンサスが得られるようなシステムのチューニングについて検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 篠原 修：橋の景観デザインを考える，技報堂出版，1944-6.
- 2) 福田邦夫：色彩調和論，朝倉書店，1996-2.
- 3) 日本色彩学会編：新編色彩科学ハンドブック，東京大学出版会，1981-7.

- 4)小林重順：配色イメージワーク，講談社，1995-7.
- 5)鳴尾友紀子・古田 均・堂垣正博：免疫アルゴリズムを用いた中小橋梁の最適景観案探索システムの構築，構造工学論文集，土木学会，Vol.48A，pp.307-318，2002-3.
- 6)武藤佳恭：ニューラルネットワーク，産業図書，1996-7.
- 7)馬場則夫：ニューラルネットの基礎と応用，共立出版，1994-9.
- 8)伊庭斉志：遺伝的アルゴリズムの基礎－GA の謎を解く－，オーム社，1994-7.
- 9)北野宏明：遺伝的アルゴリズム，産業図書，1995-7.
- 10)千々岩英障：色彩学，福村出版，1999-11.
- 11)中村秀明・宮本文穂・川村 圭・鬼丸浩幸：遺伝的アルゴリズムおよび免疫アルゴリズムによる橋梁維持管理計画最適化の検証，構造工学論文集，土木学会，Vol.47A，pp.201-210，2001-3.
- 12)中島信之・竹田英二・石井博昭：ファジィ理論入門，裳華房，1994-9.
- 13)日本規格協編：JIS ハンドブック 色彩，1994-4.

(2004 年 9 月 17 日受付)